



Studi Injeksi Surfaktan Sodium Lignosulfonat (SLS) pada Media *Sandstone* dan *Limestone* Dalam Rangka *Enhanced Oil Recovery* (EOR)

Ariff Trisetia Anggara^{*}, Muhammad Mufti Azis, Suryo Purwono

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
Jalan Grafika No. 2, Kampus UGM Bulaksumur, Yogyakarta

^{*}E-mail: ariff.anggara@gmail.com

Abstract

Enhanced Oil Recovery (EOR) has been considered as a promising technology to boost the national oil production through revitalization of existing wells in Indonesia. Chemical EOR with surfactant is known to reduce the Interfacial Tension (IFT) values of oil and water which can increase oil mobility in rocks. This study aimed to core flooding test on a laboratory scale with low cost EOR surfactant from Sodium Lignosulfonate (SLS) over two types of porous media, namely sandstone and limestone. Here, SLS was produced from lignin which was extracted from black liquor waste of pulp mill plant. In this study we used light oil with an oil viscosity of 0.77 cp and Gravity API of 43.9°. In order to determine the effectiveness of surfactant performance prior to core flooding, several tests such as aqueous stability test, an IFT test, CMC (Critical Micelle Concentration) test, and a filtration test have been conducted. For core flooding test, surfactant concentration of 1% was injected continuously into each native core at temperature of 60°C. In addition, the sequence of core flooding was water flooding I, surfactant flooding and water flooding II. Here, we would like to evaluate the incremental oil yield after surfactant flooding and water flooding II. The result of core flooding showed that sandstone media provided incremental oil as much as 17.5% with 10.9 pore volume (PV). On the other hand, the core flooding with limestone only gave an additional oil yield as much as 4.7% with 11 PV injected. Hence, the result showed that SLS surfactant showed a promising result for sandstone media.

Keywords: EOR, sodium lignosulfonate, coreflooding, sandstone, limestone

Pendahuluan

Minyak bumi merupakan sumber energi utama di Indonesia dengan tingkat konsumsi sebesar 1,2 juta kilo liter per hari, meski merupakan negara yang mempunyai cadangan minyak yang besar, produksi minyak bumi di Indonesia terus mengalami penurunan dari tahun ke tahun (Partowidagdo, 2016). Tahap eksploitasi yang berlangsung saat ini masih belum maksimal karena terbatasannya pemanfaatan teknologi serta umur sumur yang sudah tua. Berbagai usaha untuk meningkatkan produksi sumur-sumur tua yang ada di Indonesia perlu dilakukan untuk memberikan tenaga dorong dari reservoir agar fluida naik ke permukaan. Selain itu, menginjeksikan bahan kimia dari luar juga diketahui dapat meningkatkan produktivitas minyak. Teknologi ini sendiri dikenal dengan *Enhanced Oil Recovery* (EOR) (Nur fatwa, 2011).

Berdasarkan data yang tersedia dalam literatur, penerapan metode EOR di Indonesia saat ini masih sangat terbatas karena masih terbatasnya kemampuan para peneliti Indonesia dalam usaha pengembangan teknologi EOR (Dasiba, dkk., 2016). Seperti yang diketahui bersama bahwa selama ini Indonesia menerapkan EOR dengan dengan bahan kimia yang diimpor sehingga menjadi kurang ekonomis dan kurang efisien untuk EOR. Metode *chemical* EOR memanfaatkan bahan kimia seperti polimer dan surfaktan. Surfaktan merupakan senyawa yang dapat menurunkan tegangan antarmuka dua cairan yang tidak saling bercampur antara padatan dengan cairan yang melekat pada batuan. Dengan demikian, fungsi utama surfaktan adalah untuk menurunkan nilai IFT sehingga dapat meningkatkan bilangan kapiler.

Surfaktan yang diterapkan dalam berbagai pengujian di Indonesia biasanya merupakan surfaktan komersil berbasis petroleum. Penelitian ini menggunakan surfaktan berbasis sodium lignosulfonat (SLS) yang bahan bakunya diperoleh dari lignin lindi hitam. Lignin yang diperoleh selanjutnya disulfonasi untuk menghasilkan SLS. Bahan baku yang murah dan melimpah ini diharapkan dapat meningkatkan keekonomian EOR serta ramah lingkungan. SLS yang diperoleh selanjutnya diformulasi dengan *co-surfactant* untuk memperoleh surfaktan EOR yang memiliki nilai *ultralow* IFT yang berkisar 10^{-3} mN/m. Surfaktan campuran ini selanjutnya akan diujicobakan dalam *coreflooding* pada *native core* berjenis *sandstone* dan *limestone*. Kedua batuan ini memiliki kandungan yang



berbeda sehingga dapat diperoleh gambaran mengenai pengaruh komposisi batuan terhadap kinerja surfaktan berbasis SLS yang digunakan dalam studi ini.

Beberapa penelitian yang terkait dengan surfaktan untuk aplikasi EOR sudah di bahas oleh peneliti sebelumnya antara lain oleh Wibowo, dkk. (2007)., Irawan, dkk. (2014)., Setiati, dkk. (2017). Acuan peneliti yang merujuk untuk studi injeksi surfaktan terhadap batuan *limestone* dan *sandstone* antara lain adalah studi Wibowo, dkk. (2007). Surfaktan SS B8020 yang dipakai dalam penelitian ini sebagai fluida perendam mampu meningkatkan perolehan minyak sebesar 4-20%. Selain itu, keberhasilan penginjeksian surfaktan SS B8020 dapat dilihat dari beberapa kriteria lain seperti mampu menurunkan *water cut* sebesar 2 – 5 %. Irawan, dkk. (2014) telah melaporkan studi pendesakan minyak bumi dengan larutan SLS termodifikasi pada media batuan reservoir Lapangan Rantau. Hasil *recovery* secara keseluruhan yang diperoleh adalah sebesar 89,45% . Setiati, dkk. (2017). Telah meneliti surfaktan lignosulfonat dari *bagasse* yang merupakan limbah ampas tebu. Dalam studi ini dilaporkan bahwa surfaktan lignosulfonat menunjukkan sifat stabil pada kondisi cair yang mempunyai emulsi fasa stabil sebesar 53,75% pada sampel minyak ringan. Selain itu, nilai IFT tercatat sebesar 1,091 mN/m terjadi pada konsentrasi surfaktan 4% dengan larutan air garam (*brine*) 80.000 ppm. Penelitian yang membahas mengenai kinerja pendesakan surfaktan lignosulfonat pada batuan *sandstone* dan *limestone* masih terbatas dalam literatur. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja pendesakan surfaktan berbasis SLS pada media *sandstone* dan *limestone* dengan mengevaluasi besaran *recovery factor* (RF) yang diperoleh dari injeksi surfaktan. Selain itu, karakterisasi sifat fisik batuan reservoir serta surfaktan juga akan dilakukan.

Metode penelitian

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu surfaktan SLS yang dicampur dengan PFAD dan octanol dengan komposisi 70:22:8. Surfaktan ini diperoleh dari Laboratorium Teknologi Minyak Bumi, Gas dan Batubara, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Batuan *limestone* (*native core*) dari lapangan A, batuan *sandstone* (*native core*) dari lapangan M, minyak mentah yang diperoleh dari lapangan X, air formasi sebagai pelarut surfaktan yang diperoleh dari lapangan X, air injeksi sebagai pelarut surfaktan yang diperoleh dari lapangan X.

Penelitian ini terdiri atas beberapa tahap yaitu yang pertama mengevaluasi *aqueous stability* larutan surfaktan guna mengetahui kestabilan surfaktan dalam air formasi serta untuk menentukan surfaktan yang cocok dengan teknologi injeksi surfaktan. Suatu surfaktan dikatakan memenuhi kriteria *aqueous stability* jika larut sempurna dengan penampakan jernih. Begitu juga sebaliknya, jika larut sermpurna dengan penampakan keruh atau membentuk dua fasa, maka surfaktan tidak memenuhi kriteria ini. Tahapan kedua yaitu dengan menentukan nilai dari *Critical Micelle Concentration* (CMC). Surfaktan yang telah lolos uji IFT umumnya juga diuji nilai CMC-nya. Nilai CMC dilakukan untuk mengetahui batas konsentrasi kritis surfaktan dalam suatu larutan saat membentuk misel. Pada penelitian ini nilai CMC dievaluasi dengan menggunakan metode IFT dimana pada tiap-tiap konsentrasi dilakukan pengukuran IFT.

Tahapan selanjutnya adalah proses karakterisasi batuan untuk mengetahui nilai permeabilitas dan porositas batuan. Permeabilitas batuan menjelaskan kemampuan suatu batuan untuk mengalirkan fluida. Nilai porositas berguna untuk mengetahui rongga volume pori batuan. Batuan reservoir jenis *sandstone* dan *limestone* diukur dengan menggunakan helium porosimeter. Proses ini diawali dengan menyiapkan sampel dengan panjang ± 3 cm dan diameter 1 inch. Setelah itu, semua koneksi *tubing* dan selang perlu dipastikan agar terhubung dengan baik antara tabung helium, regulator, kompresor. Selanjutnya, sampel dihubungkan dengan kompresor dan proses pengukuran siap untuk dilaksanakan. Pengukuran dilakukan dengan membuka tab *measure* pada layar monitor diikuti dengan memasukkan identitas sampel yang mau diukur. Selanjutnya *setting confining pressure* pada rentang 400-10.000 psi (*default* alat 1000 psi). Berikutnya *checklist permeability* untuk pengukuran porositas dan permeabilitas, klik *auto selected billets* pada *software* untuk menentukan *billets* yang dipakai pada pengukuran *grain density*. Setelah itu sampel dan *billets* dimasukkan ke dalam *grain measurement* lalu klik *start grain measurement* dan tunggu sampai didapat *grain density* sampel yang diukur. Untuk pengukuran porositas dan permeabilitas, sampel tadi dimasukkan ke dalam *coreholder* dan selanjutnya klik *start* sampai proses pengukuran selesai.

Tahap penelitian berikutnya adalah uji kinerja pendesakan surfaktan dengan *core flooding*. Terdapat tiga tahapan persiapan yang dilakukan yaitu penjenhuan air (saturasi air), penjenhuan minyak (saturasi minyak) dan terakhir adalah pendesakan minyak (*core flooding*). Langkah pertama yang dilakukan saturasi air pada masing-masing sampel batuan atau *native core* (*sandstone* dan *limestone*) dimasukkan kedalam *cell*. Batuan divakum dengan pompa vakum selama 6 jam lalu memasukkan air formasi kedalam *cell* tersebut sampai batuan terendam atau penuh dengan menyambungkan ke bejana (berisi air formasi), setelah itu vakum dilakukan selama 1x24 jam untuk menghilangkan udara yang terjebak dalam pori-pori batuan, selanjutnya batuan dikeluarkan dari *cell* dan ditimbang berat basah. Langkah kedua lakukan saturasi minyak dengan cara batuan dimasukkan ke dalam *core holder* dengan memasang *back pressure* 100 psig dan temperature reservoir 70°C, langkah berikutnya Injeksi

minyak dengan laju alir (rate injeksi) 0.3 cc/menit dan perhatikan catat air yang terproduksi kemudian injeksi minyak dilakukan sampai air tidak keluar lagi dari batuan, setelah itu aging *core* selama 1x24 jam untuk memastikan batuan terjenuhi sempurna dengan minyak. Tahapan terakhir dengan *coreflooding* dengan melakukan injeksi dengan air atau *waterflood* dengan laju alir 0.3 cc/menit, catat minyak dan air yang keluar dari batuan selanjutnya injeksi air bisa dilakukan secara terus menerus atau sampai *watercut* tertentu langkah berikutnya injeksi larutan kimia. Catat minyak dan air yang terproduksi dari dalam batuan. Laju injeksi sama, sebesar 0.3 cc/menit. Hitung penambahan perolehan minyak tiap-tiap *PV injected*. Injeksi kimia bisa dilakukan secara terus menerus (kontinyu) atau sampai *PV injected* tertentu, terakhir *flush* dengan air, dengan laju alir injeksi yang sama (0.3 cc/menit) sampai minyak pada batuan tidak terproduksi lagi.

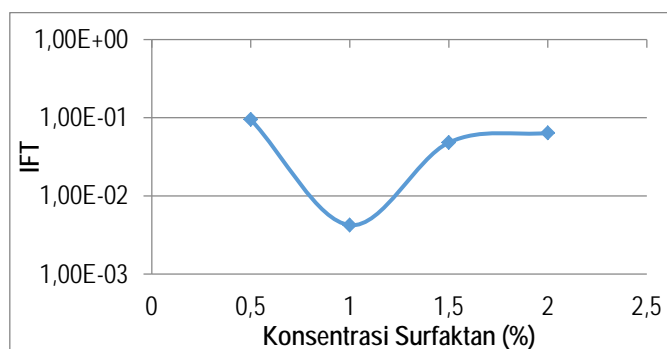
Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini yang di dapatkan ada beberapa hasil yang dijelaskan dengan beberapa tahap yaitu *aqueous stability*, IFT/CMC, sifat fisik batuan reservoir, dan terakhir *coreflooding*.



Gambar 1. Hasil *aqueous stability* (surfaktan SLS konsentrasi 1%)

Dari hasil *aqueous stability* Gambar 1 menunjukkan bahwa jenis surfaktan berbasis SLS pada konsentrasi 1% larut sempurna dengan penampakan yang jernih. Jika pada uji *aqueous stability* menunjukkan adanya endapan maka pada saat dilakukan injeksi surfaktan dapat menimbulkan *plugging* pada batuan. Hal ini perlu dihindari karena akan mempengaruhi kinerja surfaktan dalam mendesak minyak keluar dari batuan.



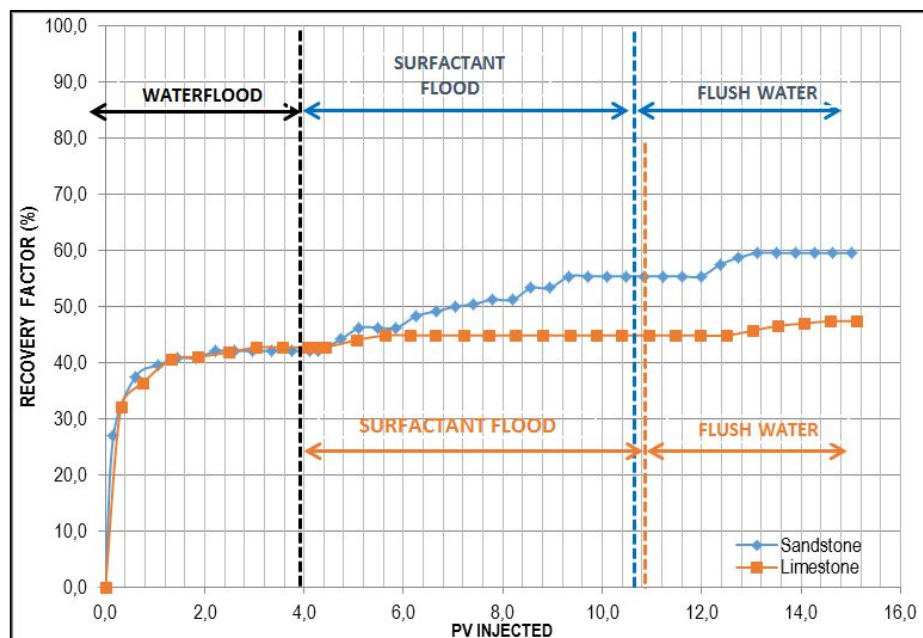
Gambar 2. Grafik CMC pada surfaktan SLS

Hasil dari grafik CMC pada surfaktan SLS pada Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai CMC yang didapatkan pada konsentrasi 1% dengan kisaran nilai IFT $4,1 \times 10^{-3}$. Ukuran untuk pemakaian surfaktan berada di kisaran nilai CMC, akan tetapi jika nilainya jauh dari CMC akan mengakibatkan terjadi emulsi balik dan untuk ekonomis tidak menguntungkan. Pada umumnya umumnya konsentrasi surfaktan yang dipilih berada pada kisaran 30% dari titik CMC.

Tabel 1. Sifat Fisik Batuan Reservoir

	<i>Sandstone (native core dari lapangan M)</i>	<i>Limestone (native core dari lapangan A)</i>
D, mm	25.25	24.81
L, mm	33.32	34.67
BV, cc	15.66	15.98
PV, cc	2.9	3.24
Porositas (Φ), %	18.52	20.26
Permeabilitas(Ka), mD	105.98	14.38

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai porositas dari batuan jenis *sandstone* dan *limestone* mempunyai kategori yang baik. Sementara itu nilai permeabilitas pada batuan reservoir jenis *sandstone* dikategorikan baik sekali sedangkan untuk jenis *limestone* didapatkan sebesar 14.38 mD dengan kategori sedang.



Gambar 3. Grafik injeksi surfaktan SLS 1 % pada media *sandstone* dan *limestone*.

Pada tahap yang selanjutnya injeksi surfaktan SLS dengan konsentrasi 1% terhadap batuan yang sudah diukur sifat fisiknya dan dalam kondisi batuan di jenuhkan air dan minyak. Minyak yang dipakai merupakan jenis minyak ringan dari lapangan X, mempunyai nilai viskositas sebesar 0.77 cp dan API Gravity 39°. Skenario yang akan dilakukan yaitu ada 3 tahapan yaitu injeksi air, injeksi surfaktan, dan terakhir injeksi *flush water* dengan kondisi temperatur 60°C dan *confining pressure* sebesar 150 psig dengan *injection rate* 0.3 cm³/min.

Gambar 3 menunjukkan hasil *coreflooding* untuk batuan *sandstone*. Nilai IFT surfaktan yang digunakan pada *core flooding* ini bernilai sebesar $4,23 \times 10^{-3}$ mN/m. Nilai *recovery factor* yang dihasilkan dari WF (*water flooding*) sebesar 42.08% dengan 6.18 PV sehingga dari S_{oi} yang awalnya sebesar 60.71% nilai S_{or} menjadi 35.16%. Selanjutnya dilakukan injeksi surfaktan secara *continuous* sampai minyak tidak terproduksi lagi. Peningkatan perolehan minyak (*incremental oil recovery*) dari *surfactant flooding* sebesar 13.3% . Penambahan perolehan minyak setelah dilakukan *flush water* sebesar 4.2% sehingga total RF dari *surfactant flooding* yang dihasilkan adalah 17.5%.

Gambar 3 juga menunjukkan hasil injeksi surfaktan berbasis SLS pada media *limestone*. Dalam hal ini nilai IFT surfaktan yang terukur adalah $3,17 \times 10^{-3}$, selanjutnya melihat besaran nilai RF yang didapatkan dari water flooding yaitu 58.55%, maka didapatkan nilai S_{oi} yang pada mulanya 81.46% menjadi sebesar 33.77%, setelah itu dilanjutkan dengan *surfactant flooding* hingga minyak tidak terproduksi lagi dan didapatkan nilai sebesar 2.14%

setelah itu dilihat dari penambahan *flush water* dan meningkatkan produksi minyak sebesar 2.56 %, jadi total RF yang dihasilkan dari injeksi surfaktan terhadap batuan jenis *limestone* adalah 4.7%.

Hasil *coreflooding* sebagaimana yang tersaji pada Gambar 3 menunjukkan bahwa jumlah PV surfaktan yang diinjeksikan relatif sama dengan nilai IFT yang berbeda. Selain itu, surfaktan berbasis SLS konsentrasi 1% mempunyai efisiensi pendesakan yang bagus dan menghasilkan RF paling besar pada *sandstone*. Sedangkan hasil pendesakan pada *limestone* memiliki peningkatan oil yield yang cukup rendah. Hal ini menunjukkan bahwa bahwa secara umum injeksi surfaktan berbasis SLS telah berperan dalam menurunkan nilai IFT yang sehingga dapat menurunkan tegangan antar muka air-minyak pada *core*. Akibatnya, minyak yang tersisa mudah mengalir melalui pori-pori batuan dan diperoleh peningkatan produksi minyak pasca injeksi surfaktan.

Kesimpulan

Pemanfaatan surfaktan berbasis SLS untuk pendesakan pada media *sandstone* dan *limestone* telah dilaksanakan pada penelitian ini. Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik antara lain:

- Hasil pengujian *aqueous stability*, uji IFT dan uji CMC menunjukkan bahwa konsentrasi surfaktan SLS yang paling baik untuk *core flooding* adalah 1%.
- Surfaktan SLS pada konsentrasi 1% memberikan *recovery factor* sebesar 17.5% pada *sandstone* dan *recovery factor* sebesar 4.7% pada *limestone* pada suhu pendesakan 60°C.

Daftar Pustaka

- Amyx J.W., Bass D.M., Whiting R.L. Petroleum reservoir engineering physical properties, McGraw-Hill Book Company. 1960.
- Dasiba, harmen fanandi, A. Sejarah pengembangan proyek pendesakan uap duri. Paper IATMI. 2016
- Irawan, satya A. Simulasi pendesakan minyak bumi dari batuan reservoir rantau menggunakan larutan sodium lignosulfonat termodifikasi. 2014.
- Nur fatwa, Deny. Pembuatan sodium lignosulfonate (SLS) dari isolat lignin tandan kosong kelapa sawit (TKS) dengan katalis NaOH pada proses sulfonasi. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. 2014.
- Partowidagdo, W. Analisis keekonomian. Departemen Teknik Perminyakan ITB. 2016.
- Rini, Setiati, Septoratto Siregar, Taufan Marhaendrajana, Deana Wahyuningrum, and Sofa Fajriah. Studi laboratorium karakteristik alamiah surfaktan ampas tebu sebagai bahan alternatif untuk injeksi surfaktan. Jurnal Teknologi Minyak Dan Gas Bumi 13(1). 2017.
- Salter, S. J. Criteria for surfactant selection in micellar flooding", SPE paper 14106, SPE. 1986.
- Sheng JJ. Modern chemical enhanced oil recovery : Theory and practice. New York : Gulf Professional Publishing. 2011.
- Wibowo, E. B., Buntoro, A., & M.Natsir. Upaya peningkatan perolehan minyak menggunakan metode chemical flooding di lapangan limau, Paper IATMI 2007-TS-35 presented at the IATMI National symposium, 25-28 July 2007, Yogyakarta, Indonesia



Lembar Tanya Jawab

Moderator : Nur Hidayati (Universitas Muhammadiyah Surakarta)
Notulen : Fauzan Irfandy (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Wijoyono Setionegoro (Universitas Sultan Ageng Tirtayasa)
Pertanyaan : Batuan yang terdapat di bumi bermacam-macam jenisnya. Apakah pada penelitian ini dapat digunakan jenis batuan lain selain *sandstone* dan *limestone*?
Jawaban : Jenis batuan yang biasa ditemukan pada reservoir adalah jenis batuan karbonat seperti *sandstone*, *limestone*, dan *dolomen*. Pada penelitian ini digunakan media *sandstone* dan *limestone*.
2. Penanya : Nur Hidayati (Universitas Muhammadiyah Surakarta)
Pertanyaan :
 - a. Terdapat 3 tahapan pada uji kinerja pendesakan surfaktan. Apa maksud dari ketiga jenis tahapan tersebut?
 - b. Bagaimana susunan *sandstone* dan *limestone* pada media yang digunakan?
 - c. Suhu yang digunakan pada penelitian adalah 60°C. Apakah suhu dapat digunakan sebagai variabel bebas?
Jawaban :
 - a. Ketiga tahapan yang digunakan pada uji kinerja pendesakan surfaktan bermaksud untuk mensimulasikan pengujian agar menyerupai fenomena yang terjadi di *reservoir*.
 - b. Susunan *sandstone* dan *limestone* diambil dari batuan asli yang terkandung pada *reservoir*.
 - c. Suhu yang digunakan dalam penelitian mengikuti suhu kondisi pada *reservoir* yaitu 60°C dan 80°C. Pada penelitian ini digunakan suhu 60°C pada tahapan injeksi *flush water*.
3. Penanya : Cristya Anggie Rosally (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apakah pengaruh surfaktan terhadap proses pengambilan minyak?
Jawaban : Surfaktan digunakan untuk menurunkan tegangan permukaan minyak sehingga minyak dapat melewati pori-pori batuan dan dapat diambil.